

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЦИКЛОВ ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК НА МОРСКИХ СУДАХ

В современной термодинамике применяются два подхода к исследованию энергетических превращений в системах ТНУ.

Первый - энтропийный, который определяет рост энтропии и связанные с ней потери только при дросселировании и необратимой передаче теплоты с конечной разностью температур. Во всех других случаях отклонения от идеальности устанавливаются эмпирически и выражаются коэффициентами, число которых велико.

Второй метод оценки - эксергетический - в результате общего эксергетического анализа реального цикла определяет суммарную эксергетическую потерю, степень термодинамического совершенства, а также условия распределения общей потери на доли, относящиеся к отдельным процессам; из которых составлен цикл.

Взаимодействие системы с окружающей средой может проходить как обратимо (идеальный процесс), так и необратимо (реальный процесс). В идеальном процессе в соответствии с определением энергии будет получена максимальная работа, равная эксергии. В реальном процессе часть энергии не превратится в работу.

В этом состоит одно из существенных отличий эксергии от энергии. Эксергия остаётся постоянной только при обратимых процессах. Это основное свойство эксергии позволяет использовать её как меру обратимости того или иного процесса.

Разность общей величины эксергии, подводимой в данную систему E_{II} , и величины эксергии, выводимой из неё $E_{ВЫХ}$, определяет суммарную величину потерь от необратимости в системе

$$\sum_{II} = \sum_{E_{II}} - \sum_{E_{ВЫХ}} \geq 0, \quad (1)$$

В ТНУ рабочее тело используется в обратном круговом процессе, к которому подводится необходимая мощность $P_{обр}$. Тепловой насос воспринимает из окружающей среды тепловой поток $(Q_{oc})_{обр}$ отдаёт нагреваемой среде тепловой поток $Q = (Q_{oc})_{обр} + P_{обр}$. Тепловой поток $(Q_{oc})_{обр}$, отводимый от окружающей среды, состоит только из энергии и определяется выражением:

$$(Q_{oc})_{обр} = B_Q = Q T_{oc} / T, \quad (2)$$

Поток эксергии E_Q , необходимый для нагрева, поступает с подводимой мощностью привода

$$P_{обр} = E_Q = (1 - T_{oc} / T) Q, \quad (3)$$

При этом тепловой поток Q , подаваемый ТНУ, представляет собой сумму E_Q и B_Q (рис. 1). ТНУ за счёт эксергии, подведённой в качестве необходимой работы, забирает из окружающей среды тепло, которое подводится к нагреваемой среде при $T > T_{oc}$ [2].

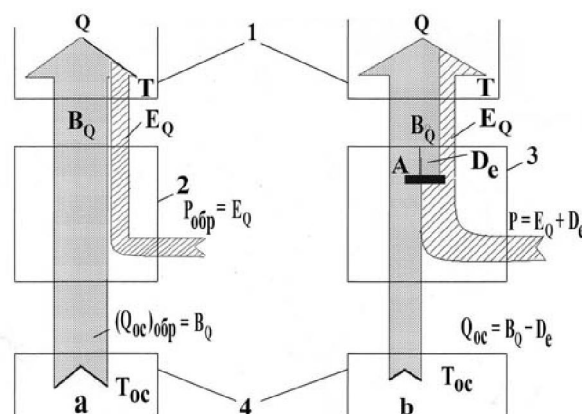


Рис. 1. Потoki эксергии в ТНУ, работающих обратимо (а) и необратимо (б):

1- нагреваемый объект; 2, 3- обратимый и необратимый тепловые насосы; 4 - окружающая среда

Реальные ТНУ работают необратимо (рис.1,б).

Для покрытия потери потока эксергии в ТНУ должна быть подведена дополнительная мощность привода [1]:

$$P - P_{обр} = P - E_Q = \Pi_c, \quad (4)$$

Отведённый из окружающей среды в виде тепла поток энергии

$$Q_{ос} = (Q_{ос})_{обр} - \Pi_c = B_Q - \Pi_c, \quad (5)$$

в этом случае будет меньше.

Часть энергии, необходимая для нагрева среды, производится необратимо из эксергии.

$$B_Q = Q_{ос} + \Pi_c = Q_{ос} + P + P_{обр}, \quad (6)$$

Эксергетический КПД необратимого ТНУ

$$\eta = E / P = E_Q / (P_{обр} + \Pi_c) = E_Q / (E_Q + \Pi_c) \quad (7)$$

и, как видно из выражения меньше единицы.

Относительная потеря вычисляется как отношение Π_i к эксергии поступающей в цикл. Используется понятие эксергетического КПД процесса:

$$\eta = E_{вых} / E, \quad (8)$$

Очевидно, что $\Pi_i = (1 - \eta_i) E_i$, (9)

Если частные КПД процессов обозначить $\eta_1, \eta_2 \dots \eta_i$ и принять, что $\eta = f(\eta_1 \dots \eta_i)$, то из выражения

$$\eta = 1 - \sum \frac{(1 - \eta_i) E_i}{E}, \quad (10)$$

целесообразнее рассматривать действительный цикл как результат перехода: обратимый цикл - теоретический цикл - действительный цикл (рис. 2). Этот цикл можно представить как результат, полученный после очередного изменения, идеального обратимого цикла Карно (рис. 2).

Весьма эффективно ТНУ можно применить для совместного генерирования теплоты и холода.

Проанализируем степень термодинамического совершенства комплексной ТНУ, эксергетический баланс которого представлен на рис. 3.

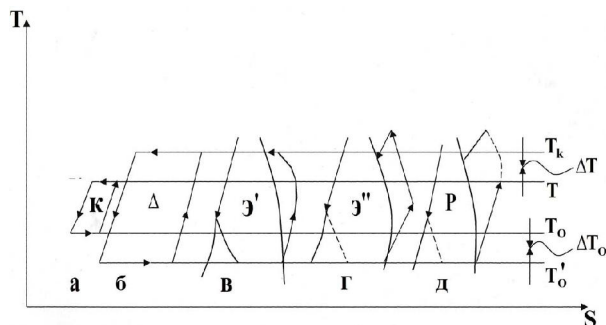


Рис. 2. Переход от цикла Карно к действительному (при регенерации):
а - цикл Карно; б - необратимый цикл; в - без перегрева; г - с перегревом; д - реальный цикл

В ТНУ подводится эксергия в виде электрической энергии $E_{п}$, целиком используемая для работы, за исключением электромеханических потерь. Часть этой энергии перерабатывается в холод $(E_g)_{хол}$.

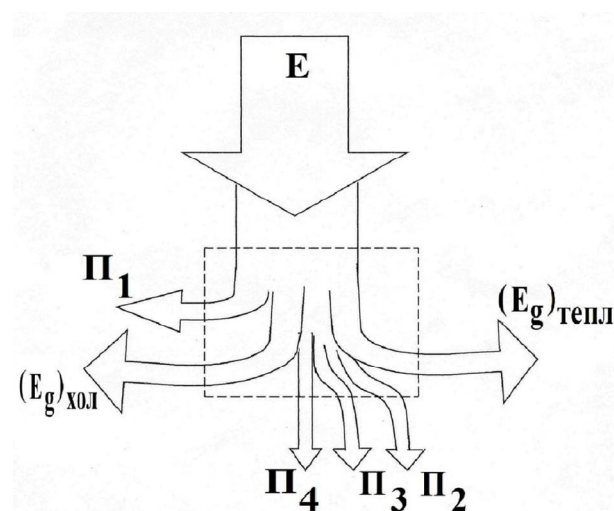


Рис. 3. Эксергетический баланс комплексной ТНУ одновременно вырабатывающей теплоту и холод

За вычетом внешних потерь, связанных с теплоотдачей при конечной разности температур охлаждаемого объекта и рабочего агента, эксергия холода передаётся охлаждаемому объекту. Другая часть эксергии $(E_g)_{тепл}$ за вычетом внешних потерь полезно используется в виде теплоты, передаваемой объекту. Вся остальная энергия теряется в различных внутренних процессах $(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4)$. Общий эксерге-

тический КПД установки определяется в виде

$$\eta = ((E_g)_{\text{менл}} + (E_g)_{\text{хол}}) / E_{\text{эл}}, \quad (11)$$

Величины $(E_g)_{\text{хол}}$ и $(E_g)_{\text{менл}}$ называются соответственно эксергетическими или приведенными холодо- и теплопроизводительностями. Их можно суммировать и относить к подведенной эксергии, т. к. они выражены в единицах превратимой энергии и представляют однородные величины. Тогда выражение (11) примет вид

$$\eta = \frac{Q_g(T_g - T_{oc})/T_g + Q_x(T_{oc} - T_x)/T_x}{L}, \quad (12)$$

Температура горячего и холодного воздуха - переменные величины; и под T_g и T_x следует понимать среднетермодинамические температуры, определяемые из выражения

$$T_{c,x} = (T_1 - T_2) / \ln(T_1 / T_2), \quad (13)$$

Эксергия горячего воздуха

$$E_g = h_g + T_{oc} S - e_o, \quad (14)$$

Эксергия холодного воздуха

$$E_x = h_x - T_{oc} S - e_o, \quad (15)$$

На графике рис. 4 показан эксергетический КПД комплексной ТНУ в зависимости от температуры горячего воздуха, получаемого в конденсаторе

ТНУ при различных температурах холодного воздуха (при построении принято, что температура окружающей среды равна температуре воздуха на входе в конденсатор $T_{oc} = 298 \text{ }^\circ\text{K}$).

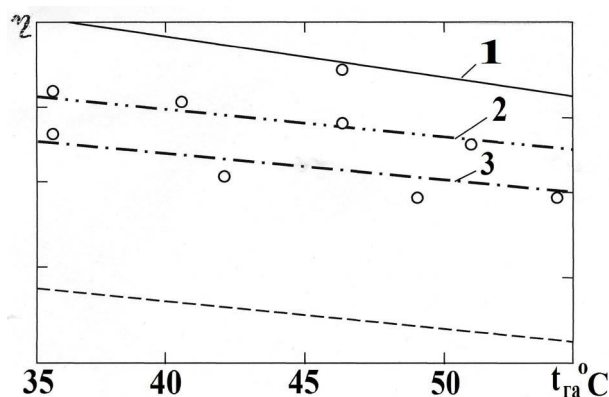


Рис. 4. Эксергетический КПД комплексной ТНУ:
1 - 3 - $t_{х.в.} = 10^\circ\text{C}; 15; 20$.

Список литературы:

1. Справочник по теплообменникам: В 2 т.; Пер. с англ./Под. Ред. Б.С. Петухова, В.К. Широкова. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - Т.1 - 561с. 2. Кутателадзе С.С., Основы теории теплообмена. - М.: Атомиздат, 1979. - 416 с.

УДК 621.43.052

С.А. Алёхин, канд. техн. наук, Ю.А. Анимов, канд. техн. наук

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ АППРОКСИМАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОНАПОРНОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА НАДДУВА БЫСТРОХОДНОГО ДВУХТАКТНОГО ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ

Введение

Эффективные показатели транспортного дизеля во многом зависят от степени согласованности характеристик его поршневой части и агрегатов системы наддува. Расчётное согласование характеристик указанных элементов проектируемого дизеля или

анализ их согласованности у существующего дизеля при его модернизации или изменении условий работы проводятся с использованием математических моделей исследуемых объектов.

В зависимости от уровня моделирования и сложности системы параметров характеристики ком-